

УДК 553.98 + 551.7.022  
DOI: 10.7868/S25000640190305

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПЛОЩАДЯХ СРЕДНЕГО КАСПИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОЙ ФЛЮИДОИНДЕКСАЦИИ

© 2019 г. Д.Б. Давыденко<sup>1</sup>

**Аннотация.** В результате расчетов по спектрально-зональным космоснимкам с использованием метода дистанционной флюидоиндексации для площадей Среднего Каспия составлены карты изолиний индекса флюидонасыщения легкими и тяжелыми углеводородами. В связи с высокой их взаимной корреляцией в статье рассмотрены только региональные аномалии индекса флюидонасыщения тяжелых (ИФТ) углеводородов. Анализ карты ИФТ позволил наметить 4 аномальных ареала ИФТ. В пределах анализируемого района Каспия все эти ареалы пространственно связаны с узлами пересечения крупных разломных систем. Кроме того, наблюдается высокая сопоставимость этих аномалий с параметрами нефтегазогенерации комплекса пород пермско-триасового возраста. По результатам анализа геологической природы региональных аномалий ИФТ интерпретируется как отображение крупных потоков углеводородных флюидов, мигрирующих из зоны нефтегазообразования к дневной поверхности. Подобное истолкование геологической природы региональных аномальных ареалов ИФТ подтверждается их совпадением с прогнозируемыми по геологоразведочным данным узлами нефтеобразования. Применение метода дистанционной флюидоиндексации в рассматриваемом регионе обеспечивает возможность картирования узлов нефтегазогенерации. Использование с подобной целью традиционных геофизических методов пока не позволяет решать подобную задачу.

**Ключевые слова:** углеводородные потоки, узлы нефтегазообразования, зоны нефтегазоаккумуляции, спектрально-зональные космоснимки, прогнозирование нефтегазоносности.

## REGIONAL INVESTIGATIONS AT THE AREAS OF THE MIDDLE CASPIAN WITH USE OF THE METHOD OF REMOTE FLUID-INDEXATION

D.B. Davydenko<sup>1</sup>

**Abstract.** As a result of calculations by spectrum-zonal space images with use of the method of remote fluid-indexation for the areas of the Middle Caspian, the isoline maps of an index of fluid-saturation by light hydrocarbons (HC) and also by heavy HC have been compiled. In connection with their high mutual correlativeness, only regional anomalies of the index of heavy hydrocarbons (IFH) are presented and analysed in the paper. The analysis of the map allowed to point 4 anomalous IFH areals. In the limits of the analyzed area of the Caspian, all these areals are spatially correlated with nodes of intersection of large fault systems. Moreover, the high compatibility of the anomalies with the parameters of oil- and gas-generation of the rock complex of Permian-Triassic age is observed. By results of the analysis of geological nature of regional anomalies IFH, these are interpreted as reflection of large flows of hydrocarbon fluids, migrating from the zone of oil-gas formation to the Earth surface. Such interpretation of geological nature of anomalous IFH areals is confirmed by their coincidence with forecasted by the geological-prospecting data nodes of oil- and gas-generation. The above pointed allows to note that using of the method of remote fluid-indexation in the considered region ensures possibility of mapping nodes of oil-gas generation. Using of traditional geophysical methods for this purpose does not yet allow solving such problem.

**Keywords:** hydrocarbon flows, nodes of oil-gas formation, zones of oil-gas accumulation, spectrum-zonal space images, forecasting of oil- and gas capacity.

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: davyd@ssc-ras.ru

## ВВЕДЕНИЕ

Поиск методов прогнозирования нефтегазоперспективных объектов по спектрально-зональным снимкам является перспективным направлением геологических исследований [1; 2]. Автором в 2003 г. была разработана технология прогнозирования по многозональным космическим снимкам месторождений углеводородов [3]. Попытки использовать аэро-, а позже и космоснимки для поисков месторождений предпринимаются достаточно давно, и они описаны в многочисленных публикациях. Дешифрирование аэроснимков фактически полностью базировалось на визуальном анализе структуры изображения (так называемый геоиндикационный метод [1]). Появление спектрально-зональных космоснимков в середине 70-х гг. прошлого века способствовало поиску методов количественных преобразований получаемой многофакторной информации (интенсивность фототона каждой зоны спектра рассматривается как отдельный фактор). Основная проблема, препятствующая решению этой задачи, обусловлена тем, что изображение ландшафта на снимках в большом числе случаев выступает интенсивной помехой, маскирующей аномалии, связанные с искомыми геологическими объектами. Для устранения этих помех и надежного выделения аномалий, вызванных геологическими объектами, необходима технология преобразования данных космической съемки.

Основным фактором, определяющим возможность поиска залежей углеводородов (УВ) и прогнозирования зон нефтегазоаккумуляции по материалам космических съемок, является субвертикальная миграция углеводородных флюидов из залежей к земной поверхности. В результате этого происходит формирование в припочвенном слое аномальных содержаний метана, его гомологов, а также возникновение вторичных геохимических аномалий. Существование вертикальной миграции флюидов УВ из залежи и возможность использования указанных процессов в качестве «прямых» признаков нефтегазоносности недр впервые было доказано работами В.А. Соколова в 1933 г. Последующие исследователи активно развивали это перспективное направление поисков. Вторичные литохимические, гидрохимические, минералогические, микробиологические, а также геофизические изменения в надпродуктивном интервале разреза объединяем под общим названием углеводородопроизводимые аномалии.

Одной из разновидностей таких аномалий являются характерные изменения отражательной способности растительности и почв над залежью углеводородов [1]. Хотя возникшие различия не воспринимаются человеческим глазом, они отображаются на спектрально-зональных космических снимках своеобразным сочетанием аномальных значений яркости изображения в определенных зонах спектра электромагнитных колебаний. Эта индикация углеводородопроизводимых аномалий яркостью фототона и является физической предпосылкой поиска залежей УВ по спектрально-зональным космическим снимкам.

Задача устранения помех и относительного усиления сигнала является в методе дистанционной флюидоиндексации (МДФ) первостепенной. В целом принципиальная возможность ее решения обусловлена тем обстоятельством, что в соседних зонах спектра изображения природной компоненты ландшафта практически сохраняются, а основные изменения обусловлены воздействием УВ-производимых аномалий, которые могут проявляться в соседних зонах с различным знаком. Поэтому первоначально метод именовался «ландшафтная фильтрация».

Основные вопросы преобразования спектрально-зональных снимков для определения индекса флюидонасыщения освещены в публикациях [3–5]. С целью анализа использованы космоснимки со спутника Landsat-7. Комплект этих снимков для одного и того же участка местности, включающий изображения в семи различных спектральных зонах (для видимой области три зоны; инфракрасная область представлена четырьмя зонами), рассматривается как единая «сцена». Технология МДФ реализована в среде ГИС-ИНТЕГРО. В результате проведенных исследований установлено, что зависимость (уравнение) для оценки индекса флюидонасыщения над месторождениями газа отличается от зависимости для месторождений нефти. С использованием полученных уравнений на конечном этапе рассчитывается индекс флюидонасыщения легкими углеводородами (ИФЛ), а также тяжелыми (ИФТ) и строятся карты аномалий этих параметров. При интерпретации локальных аномалий индекса флюидонасыщения прогнозируемые залежи углеводородов оконтуриваются в соответствии с критериями, используемыми в геофизике для выделения контуров объектов, с которыми связаны аномалии потенциальных полей.

Дополнительно к прогнозированию залежей углеводородов по аномалиям индекса флюидона-

сыщения разработан вариант регионального прогнозирования, в качестве основной задачи которого рассматривалось выявление зон нефтегазонакопления. Их значительные площадные размеры позволяли внести ряд упрощений в схему устранения ландшафтных помех, что способствовало определенному сокращению трудозатрат. Кроме того, региональный анализ поля индекса флюидонасыщения является более предпочтительным вариантом в сравнении с локальным прогнозом, так как для оценки полученных результатов требуется менее точная информация о координатах крупных по площадным размерам объектов нефтегазонакопления, с которыми сопоставляются выявленные региональные аномалии индекса флюидонасыщения.

Как показали результаты регионального варианта МДФ, крупные аномальные зоны индекса флюидонасыщения обычно являются следствием генерализации естественно сгруппированных локальных аномалий, соответствующих пространственно сближенным месторождениям нефти и газа. Полученные в результате расчетов аномалии ИФЛ, а также ИФТ позволили наметить еще и новые зоны нефтегазонакопления, перспективные на обнаружение пока не выявленных месторождений углеводородов. Несколько неожиданными оказались результаты регионального варианта МДФ на площадях шельфа Среднего Каспия [5]. Было установлено, что встреченные типы аномалий обусловлены не только генерализацией эффекта от сближенных локальных объектов в контурах зоны нефтегазонакопления, но также что часть из них связана с самостоятельными крупными аномалиеобразующими объектами. Факт обнаружения подобных образований представился достаточно интересным. Однако по ряду причин вопросы о геологической природе этих аномалий фактически остались открытыми. Было лишь высказано осторожное предположение о возможной связи их не только с зонами нефтегазонакопления, но также и с очагами газогенерации [5].

В последующий период начатые автором исследования в этом регионе были продолжены. На предшествующем этапе расчеты региональных аномалий были выполнены только для ИФЛ и не для всей «сцены». К настоящему времени аномалии ИФЛ и ИФТ рассчитаны для всей «сцены» (площадь порядка 35000 км<sup>2</sup>), а также проанализированы существующие представления о геологическом строении этого региона и его нефтегазоносности. В целом сделанные ранее предварительные выводы

о возможности картирования очагов нефтегазогенерации, по мнению автора, находят определенное подтверждение в проанализированных геологических данных. Представляется, что подобная информация может быть интересна для специалистов самых различных регионов России.

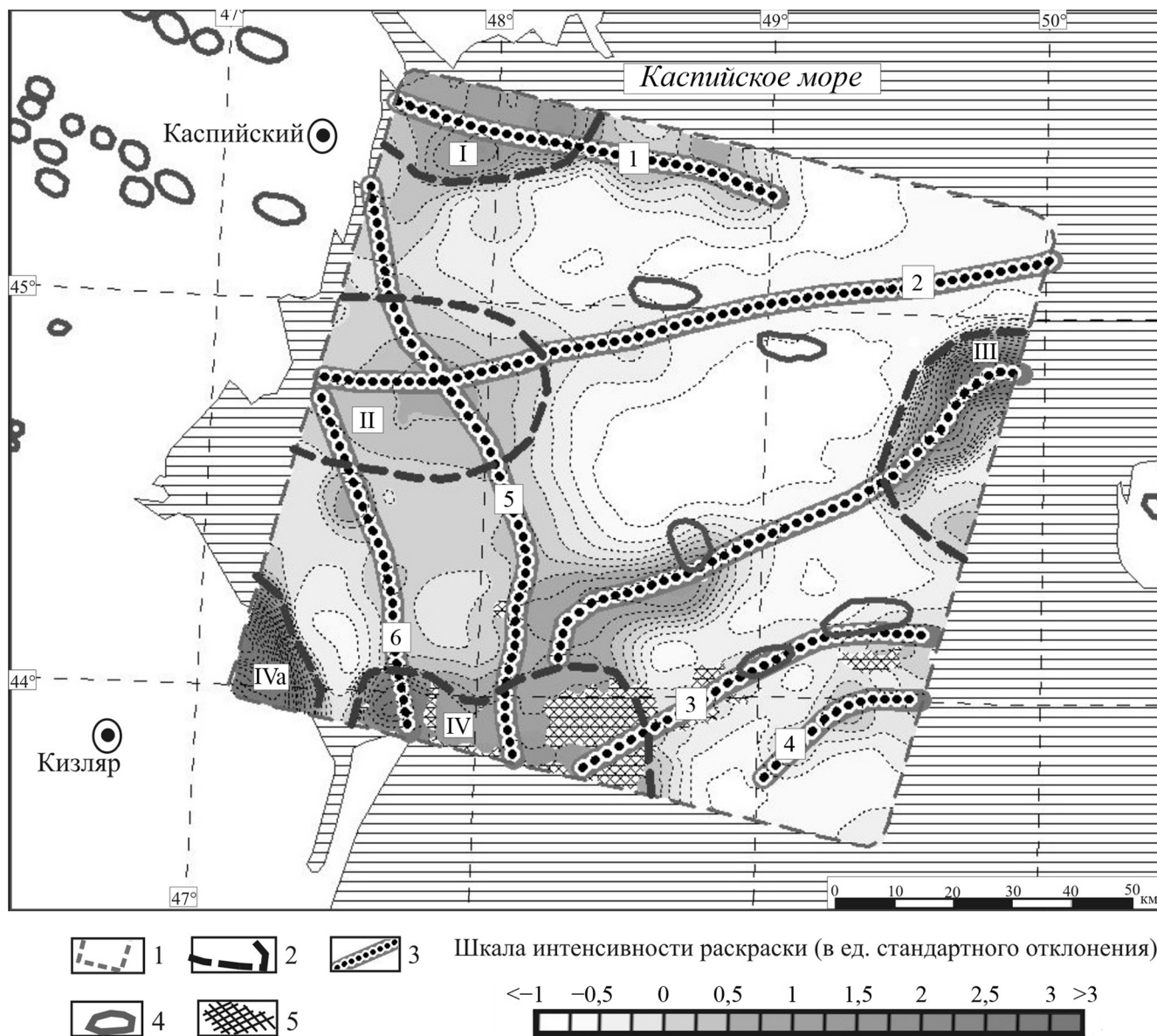
## ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО ПОЛЯ ИФТ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЕГО СТРУКТУРЫ

Индекс флюидонасыщения рассчитан к настоящему времени для всей «сцены», площади которой соответствуют частично Северо-Каспийскому и в большей мере Средне-Каспийскому бассейнам (рис. 1). Принятая на рассматриваемом объекте методическая схема выполняемых расчетов МДФ в региональном варианте практически не отличается от применяемых ранее. Процедуры тестирования уравнений, используемых для вычисления индекса флюидонасыщения в новом геологическом районе, были осуществлены в процессе предыдущих работ по региону. В результате для всей площади «сцены» определены генерализованные значения ИФЛ и ИФТ. Полученные карты изолиний этих параметров очень близки по структуре друг к другу, поэтому в статье анализируется только аномальное поле ИФТ (рис. 1).

Анализ полученной карты изолиний (рис. 1) показывает, что на исследуемой площади встречаются как линейные аномальные зоны, так и площадные аномалии. Первые уверенно прослеживаются с запада-юго-запада на восток-северо-восток через большую часть площади всей «сцены». В целом геологическая природа этих аномальных зон ясна. Они связаны с линейно вытянутыми тектоническими элементами и являются зонами нефтегазонакопления (рассматриваем эти образования как аномалиеобразующие объекты первого типа).

Значительно больший интерес представляют крупные по площади (по форме близкие к изометричным) аномалии регионального поля ИФТ. Они ранее никем не были описаны, и факт обнаружения подобных объектов представился достаточно важным, однако по ряду причин вопросы геологической природы этих крупных по площади аномалий фактически остались открытыми. Объекты, генерирующие эти аномалии, определяем как объекты второго типа, а связанные с ними поля – как аномальные ареалы.

Всего в пределах «сцены» выделены фрагменты четырех подобных ареалов (рис. 1). Примечатель-



**Рис. 1.** Региональные аномалии ИФТ в пределах «сцены» и основные элементы структуры аномального поля: 1 – контуры «сцены»; 2 – субизометричные аномалии генерализованного поля ИФТ (I – Каспийская, II – Кизлярская, III – Тюб-Караганская, IV – Восточно-Аграханская, IVa – Западно-Аграханская); 3 – аномальные зоны различной протяженности и их номера; 4 – ориентировочные контуры выявленных нефтегазоконденсатных месторождений; 5 – значительные скопления облачности.

**Fig. 1.** Regional anomalies of IFH in the limits of “scene” and main elements of anomalous field structure: 1 – contours of “scene”; 2 – sub-isometric anomalies of generalized IFH field (I – Caspian, II – Kizlyar, III – Tyub-Karagan, IV – East-Agrakhan, IVa – West-Agrakhan); 3 – anomalous zones of various extent and their numbers; 4 – approximate contours of revealed oil-gas condensate deposits; 5 – significant accumulations of cloud cover.

но, что расположены они как бы в узлах пересечения линейных аномальных зон. Интенсивность значений индекса флюидонасыщения в пределах ареалов различная. Преимуществом генерализованного поля является улучшение визуализации региональных аномальных объектов, особенно в случаях, когда последние характеризуются значительными размерами и невысокой интенсивностью.

Наиболее полно из объектов этого типа охарактеризовано поле индекса флюидонасыщения Кизлярского ареала. Форма его аномалии близка к изометричной, а размеры достигают 50 км по короткой оси. Интенсивность поля ИФТ в эпицентре составляет порядка 0,75 единиц стандартного отклонения (ед. с. о.). Для сравнения: в пределах линейной зоны (вблизи установленных месторождений) ин-

тенсивность поля индекса флюидонасыщения соответствует 0,25 ед. с. о. Таким образом, в пределах упомянутого ареала интенсивность индекса флюидонасыщения в несколько раз (даже на порядок и более) превышает таковую для линейных аномальных зон. Обращает на себя внимание факт невысоких градиентов изменения индекса флюидонасыщения в пределах Кизлярского ареала. Остальные 3 ареала располагаются в пределах «сцены» лишь небольшими частями (не более чем половиной своей площади). Интенсивность значений индекса флюидонасыщения в их пределах заметно выше, чем у Кизлярского ареала, и составляет от 1,5 до 3,0 ед. с. о. Для Тюб-Караганского и Аграханского ареалов характерны высокоинтенсивные горизонтальные градиенты. По результатам МДФ, в пределах изучаемой «сцены» остается неопределенность с границами Аграханского ареала (неясно, является ли Западно-Аграханская аномалия его частью).

Кроме ареалов аномального поля ИФТ выделено 7 аномальных зон. Прослеживание последних по большей части реализуется уверенно. Иницировать зоны решено с использованием их номеров (аномальная зона 1 – АЗ-1 и т.д.). Наименьшая интенсивность аномального поля ИФТ соответствует АЗ-2. Наиболее интенсивные аномалии – в пределах АЗ-3.

Таким образом, приведенные выше материалы свидетельствуют о наличии в пределах исследуемого региона двух типов региональных аномалий. Первый из них это линейно вытянутые аномальные зоны, которые обусловлены суммированием аномального эффекта индекса флюидонасыщения от сближенных в плане локальных флюидопотоков над залежами углеводородов. Второй тип это аномальные ареалы субизометричной формы, связанные с мегакрупными флюидопотоками, геологическую природу генерирующих их объектов попытаемся оценить. Для решения указанной задачи необходимо предварительно рассмотреть геологическое строение исследуемого региона.

#### ОБЗОРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РАЙОНА РАБОТ

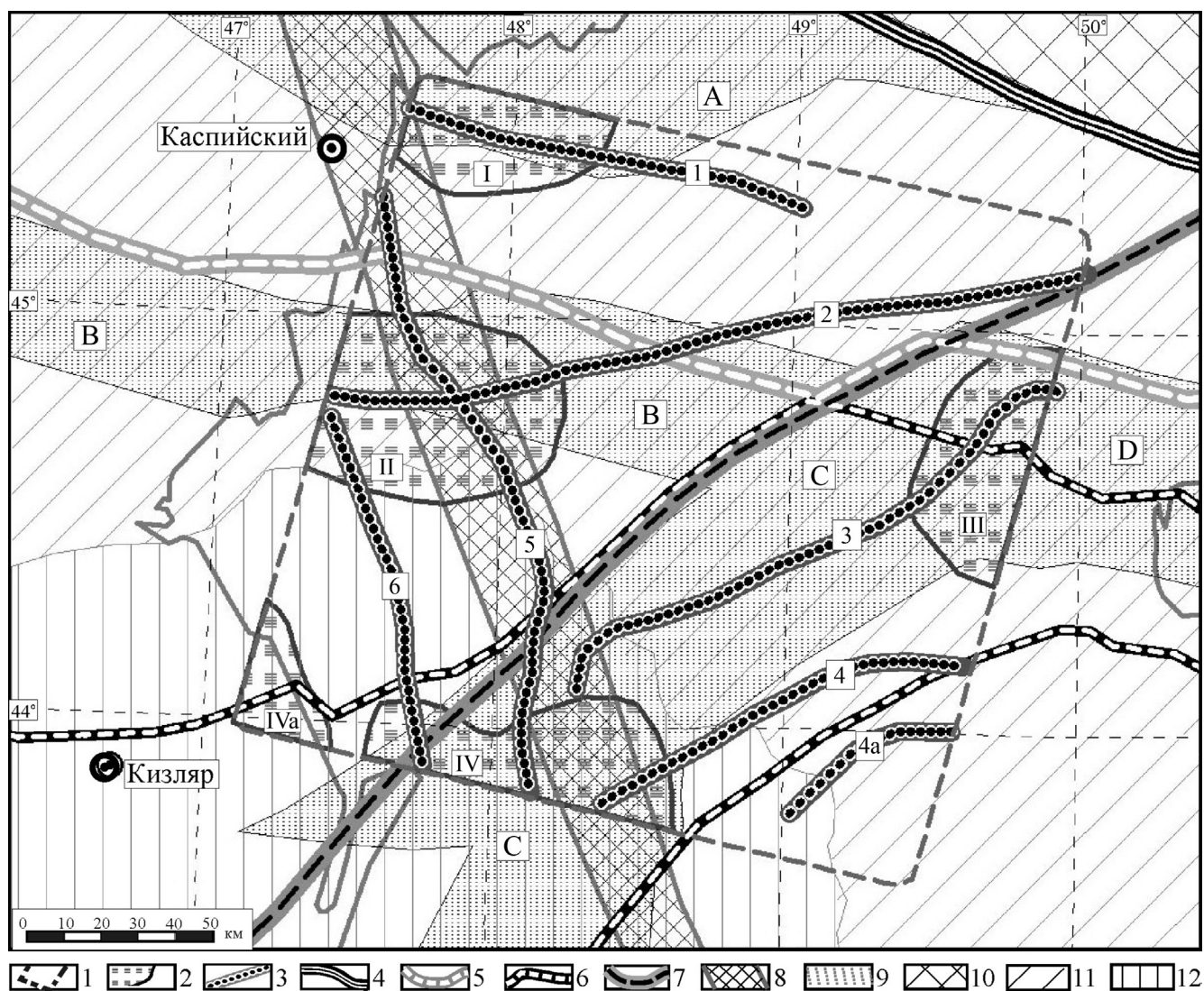
В качестве главных тектонических элементов на уровне фундамента выделяются [6] крупный сегмент Восточно-Европейской платформы (Прикаспийская впадина), а также фрагменты Скифско-Туранской плиты (рис. 2). Возраст фундамента,

соответственно, от дорифейского до эпигерцинского. Аграхан-Атырауский сбросо-сдвиг (рис. 2) отделяет Скифскую плиту от Туранской. В составе фундамента последней заметную роль играют дислоцированные пермско-триасовые породы.

По результатам анализа комплекса геофизических полей [6] в пределах региона намечены 4 рифтогенные системы: кряжа Карпинского, Восточно-Маньчская, Центрально-Мангышлакская, Аграханская (рис. 2). Начало формирования рифтогенной системы кряжа Карпинского относится к рифейской эпохе. Фундамент рифта погружен на глубины порядка 15 км. Намечается активизация системы в девонский период. В позднегерцинский этап формируется складчатость, взбросовые и покровно-надвиговые структуры. Восточно-Маньчская рифтогенная система возникла в пермское время на разновозрастном (от протерозоя до палеозоя) фундаменте Скифской плиты, который погружен до 5–7 км. Заполнение этой системы представлено вулканогенными и терригенно-карбонатными осадками пермско-триасового возраста. Аграханская рифтогенная система заложена вдоль Аграхан-Атырауского тектонического шва (предполагается палеозойский возраст его заложения), разграничивающего Скифскую и Туранскую плиты. Прогнозируемая мощность пермско-триасовых отложений – 3–4,5 км. Предполагаемый состав осадочной толщи – вулканогенно-осадочные и карбонатные породы. Центрально-Мангышлакская рифтогенная система как бы продолжает на восток Аграханскую систему. Предполагаемый возраст ее заложения – ранний палеозой. В течение палеозоя здесь накопилась мощная толща (3–5 км) вулканогенно-осадочных и карбонатных пород. В период поздняя пермь – ранний триас имеет место активизация рифтогенных процессов. В предъюрское время происходят инверсионные процессы и складкообразование, сопровождающиеся взбросо-надвиговыми дислокациями.

В пределах анализируемой площади представляется необходимым выделять еще один крупный разломный элемент, который обусловил возникновение Западно-Каспийского надрегионального магнитного линеамента (рис. 2). В работе [6] отмечается, что геологическая природа последнего неясна.

Платформенный чехол на площадях Северного Каспия представлен верхнепермско-кайнозойским комплексом преимущественно терригенного состава. Осадочный чехол Среднего Каспия включает



**Рис. 2.** Аномальные зоны и ареалы ИФТ в сопоставлении с региональными тектоническими элементами: 1 – контуры «сцены»; 2 – суб-изометрические аномалии генерализованного поля ИФТ (номера ареалов соответствуют принятым на рисунке 1); 3 – аномальные зоны ИФТ (см. рисунок 1); 4–7 – шовные системы и зоны глубинных разломов, разграничивающих крупные сегменты складчато-кристаллического фундамента: 4 – Донецко-Астраханская шовная система, 5 – Северо-Манычская шовная система, 6 – северо-западная и юго-восточная дизъюнктивные границы плиоцен-четвертичной зоны раздвигообразования, 7 – Аграхан-Атырауский сбросо-сдвиговый тектонический шов; 8 – Западно-Каспийский надрегиональный линеймент магнитного поля; 9 – рифтогенные системы: А – кряжа Карпинского, В – Восточно-Манычская, С – Аграханская, D – Центрально-Мангышлакская; 10–12 – крупные сегменты структуры фундамента: 10 – Прикаспийская впадина докембрийской Восточно-Европейской платформы, 11 – Скифско-Туранская платформа, как область тектонического сопряжения палеозойской Скифской и мезозойской Туранской плит, 12 – Терско-Каспийский наложенный прогиб.

**Fig. 2.** Anomalous zones and areals of IFH in comparison with regional tectonic elements: 1 – contours of the “scene”; 2 – sub-isometric anomalies of generalized IFH field (numbers of the areals correspond to these adopted in Fig. 1); 3 – anomalous zones of IFH (see Fig. 1); 4–7 – sutural systems and zones of abyssal fractures, delimiting large segments of folded-crystalline basement: 4 – Donetsk-Astrakhan sutural system, 5 – North-Manych sutural system, 6 – North-Western and South-Eastern disjunctive margins of the Pliocene-Quaternary zone of slide-apart faults formation, 7 – Agrakhan-Atyrau strike-slip fault tectonic suture; 8 – Western-Caspian over-regional lineament of magnetic field; 9 – rifting systems: A – Karpinsky Ridge, B – East-Manych, C – Agrakhan, D – Central-Mangyshlak; 10–12 – large segments of the basement structure: 10 – Near-Caspian depression of Pre-Cambrian Eastern-European platform, 11 – Scythian-Turan platform as a region of tectonic linking of Paleozoic Scythian and Mesozoic Turan plates, 12 – Tersk-Caspian superimposed depression.

кроме пермско-триасовых отложений терригенные и карбонатно-терригенные породы от юрского до неогенового возраста. В Терско-Каспийском про-

гибе сформирован мощный карбонатный комплекс мезозоя – эоцена, перекрытый глинисто-песчаными отложениями более молодого возраста.

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ИФТ

Основой для интерпретации результатов региональных исследований с использованием метода дистанционной флюидоиндексации является анализ пространственного соответствия аномалий поля ИФТ геологическим образованиям региона (как установленным, так и прогнозируемым по комплексным геологическим исследованиям). На рисунке 2 описанные выше структурированные элементы поля ИФТ совмещены с региональными элементами тектоники исследуемого района Каспия. По результатам анализа представленной здесь информации отметим следующее:

– практически все аномальные ареалы ИФТ (кроме Западно-Аграханского) или полностью, или большей своей частью расположены в пределах площадей рифтогенных систем;

– три из этих ареалов (Каспийский, Кизлярский, Аграханский) приурочены к узлам пересечения рифтов с Западно-Каспийским надрегиональным линеаментом магнитного поля;

– Тюб-Караганский аномальный ареал ИФТ соответствует узловой зоне сочленения трех рифтогенных систем;

– намечается трассирование АЗ-1, полностью и частично АЗ-2 и АЗ-3 вдоль рифтогенных систем Аграханской, Восточно-Мангычской и кряжа Карпинского;

– предполагая, что Западно-Каспийский надрегиональный линеамент магнитного поля связан с разломной зоной, размеры которой в крест простираются превышают принятые на схеме элементов магнитного поля [6], рассматриваем АЗ-5 и АЗ-6 как соответствующие восточной и западной границам этой разломной зоны;

– расположение АЗ-4 и АЗ-4а соответствует юго-восточным ограничениям Аграханского рифта и зоны плиоцен-четвертичного раздвигообразования [6].

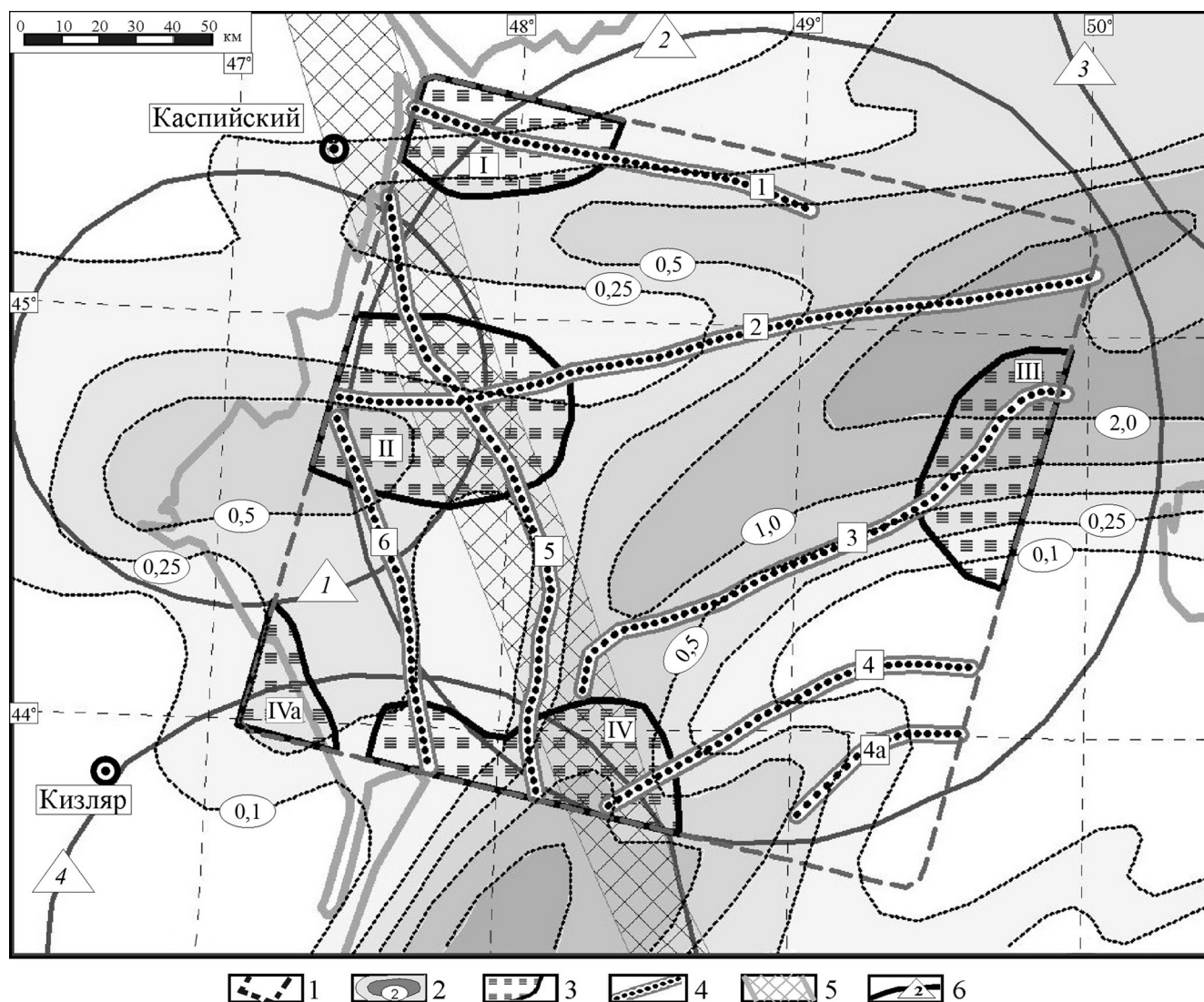
Изложенные выше факты позволяют утверждать, что в пределах анализируемого района Каспия все региональные аномалии индекса флюидонасыщения углеводородов в значительной мере связаны с площадями рифтогенных систем. То есть все эти аномалии тяготеют к областям повышенной трещиноватости (зонам разуплотнения), что обусловило аномальную флюидопроницаемость в их пределах.

Рассмотрение структурных элементов региональных аномалий ИФТ совместно с прогнозируемыми содержаниями органического углерода  $C_{орг}$  в толще триасового возраста позволяет отметить (рис. 3) еще более высокую взаимозависимость этих пара-

метров в сравнении с относительным совпадением региональных тектонических элементов и аномалий ИФТ. Значительно четче соотносятся Кизлярский аномальный ареал и отдельная аномалия  $C_{орг}$  интенсивностью до 0,5 %, а также аномальные зоны АЗ-1, АЗ-4, АЗ-4а с зонами увеличения  $C_{орг}$ .

Кроме информации о содержаниях органики в триасовом комплексе на рисунке 3 приведены также главные узлы нефтеобразования. Авторы монографии [6] почти не дают какой-либо информации (кроме выделения контуров) об этих в общем достаточно интересных объектах. Наиболее уверенно можно говорить о совпадении Кизлярского аномального ареала с одноименным узлом нефтеобразования и с аномалией  $C_{орг}$  интенсивностью 0,5%. Аналогичная ситуация намечается и для соотнесения Аграханских аномальных ареалов с одноименным узлом нефтеобразования, а также с интенсивной аномалией  $C_{орг}$ . Мангышлакский узел нефтеобразования охватывает площадь практически всей «сцены». Так как принципы выделения этих нефтегенерирующих объектов не описаны, то сложно оценить степень его обоснованности. Различие площадных размеров аномальных ареалов и главных узлов нефтеобразования, возможно, связано с тем, что контуры рассматриваемых объектов существенно схематизированы (идеальные окружности), в то время как аномальные ареалы рассчитаны по конкретным данным. Имеется еще одно различие указанных узлов и аномальных ареалов индекса флюидонасыщения. В упоминаемой монографии кроме узлов нефтеобразования отдельно выделяются узлы газообразования (они за пределами анализируемого района). Аномальные ареалы ИФТ и ИФЛ практически совпадают.

Подводя итог изложенному выше, выделим основные моменты проведенного сопоставления. Все выявленные аномальные ареалы ИФТ приурочены к узлам пересечения крупных разломно-раздвиговых систем. В пределах этих узлов возникают протяженные по вертикали (как минимум до фундамента) зоны интенсивной нарушенности и разуплотнения разновозрастных породных комплексов, что обеспечивает высокую проницаемость этого природного крупного миграционного канала. Прослеживается совпадение узлов деструкции с участками потенциальной генерации углеводородов в отложениях пермско-триасового возраста. Сопоставляя эти два фактора, автор статьи считает возможным интерпретировать аномалиеобразующие объекты крупных региональных аномалий ИФТ как флюидомегадиапиры литосферы.



**Рис. 3.** Аномальные зоны и ареалы ИФТ в сопоставлении с прогнозируемым содержанием  $C_{орг}$  в отложениях триаса (по [5]): 1 – контуры «сцены»; 2 – изолинии равных содержаний  $C_{орг}$ ; 3 – субизометричные аномалии генерализованного поля ИФТ (I – Каспийская, II – Кизлярская, III – Тюб-Караганская, IV – Восточно-Аграханская, IVa – Западно-Аграханская); 4 – аномальные зоны различной протяженности и их номера; 5 – Западно-Каспийский надрегиональный линеймент магнитного поля; 6 – главные узлы нефтеобразования (номера в треугольниках: 1 – Кизлярский, 2 – Мангышлакский, 3 – Прорвинский, 4 – Аграханский).

**Fig. 3.** Anomalous zones and areals of IFN in comparison with forecasted content of  $C_{org}$  in the Triassic deposits (by [5]): 1 – contours of the “scene”; 2 – isolines of equal contents of  $C_{org}$ ; 3 – sub-isometric anomalies of generalized IFN field (I – Caspian, II – Kizlyar, III – Tyub-Karagan, IV – East-Agrakhan, IVa – West-Agrakhan); 4 – anomalous zones of various extent and their numbers; 5 – Western-Caspian over-regional lineament of magnetic field; 6 – main nodes of oil-formation (numbers in triangles: 1 – Kizlyar, 2 – Mangyshlak, 3 – Prorvinsky, 4 – Agrakhan).

Высокие содержания органики в толще пермско-триасового комплекса, значительные мощности этих отложений, а также большие глубины залегания – все это определяет благоприятные условия для активного развития процессов нефтегазогенерации в этих образованиях и формирования скоплений углеводородов. При отсутствии миграционных каналов здесь возникают аномально высокие давления и устанавливается некоторое динамическое равновесие. На участках, где нефте-

газогенерирующий комплекс дренируется миграционными каналами, в период тектонической активизации альпийского этапа это равновесное состояние нарушается, и аномально высокие давления способствуют «перекачке» углеводородной компоненты в направлении, где пластовое давление значительно ниже (то есть к поверхности литосферы). Отображением этой миграционной активности на земной поверхности и являются аномально крупные флюидопотоки, сопровождае-



мые площадными аномалиями индекса флюидонасыщения. Таким образом, аномальные ареалы ИФТ интерпретируем как обусловленные мега-крупными углеводородными потоками, возникающими над автономными узлами нефтегазообразования. Отмечаемое ранее совпадение этих ареалов с прогнозируемыми по геологическим данным узлами нефтеобразования [6] вовсе не является случайным. Отличие контуров аномальных ареалов от окружностей, в виде которых представлены границы узлов нефтеобразования, явно связаны с существенной обобщенностью последних по данным геологоразведочных работ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных расчетов с использованием МДФ [3–5] в статье представлена схематическая карта изолиний региональных аномалий индекса флюидонасыщения тяжелыми углеводородами. Анализ этой карты позволяет наметить 4 аномальных ареала ИФТ и 7 аномальных зон.

Хорошая сопоставимость аномалий региональной компоненты индекса флюидонасыщения с региональными тектоническими элементами, а также с параметрами нефтегазогенерации позволяет отметить высокую информативность регионального

варианта МДФ. В результате проведенного анализа аномальные ареалы ИФТ рассматриваются как отображение мегакрупных потоков углеводородных флюидов, мигрирующих из зоны нефтегазообразования к дневной поверхности. Подобное истолкование геологической природы аномальных ареалов ИФТ подтверждается совпадением их с прогнозируемыми по геологоразведочным данным узлами нефтеобразования. Фактическое использование метода дистанционной флюидоиндексации обеспечивает возможность картирования узлов нефтегазогенерации. Использование с подобной целью традиционных геофизических методов пока не позволяет решать эту задачу. Природа аномальных зон считается двойственной. В одних частях зоны преобладают глубинные потоки УВ, а в других – аномальный эффект от сближенных месторождений и проявлений углеводородов.

В целом проведенные исследования показали, что региональный вариант МДФ является высокоинформативным способом анализа спектрально-зонных снимков для обнаружения крупных нефтегазоперспективных объектов.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ЮИЦ РАН, № госрегистрации проекта АААА-А19-119011190181-1.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований*. 2000. СПб., изд-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ: 316 с.
2. Горный В.И., Тронин А.А. 2012. Обзор достижений последнего десятилетия в области применения спутниковых методов дистанционного зондирования при геологических и геофизических исследованиях. *Современные проблемы зондирования Земли из космоса*. 9(5): 116–132.
3. Давыденко Д.Б., Финкельштейн М.Я. 2004. Прогнозирование нефтегазоносности по многоспектральным космоснимкам в среде ГИС ИНТЕГРО. *Геоинформатика*. 1: 41–49.
4. Давыденко Д.Б. 2016. Региональные аномалии углеводородного флюидонасыщения как новый источник информации о нефтегазоперспективных объектах шельфа Каспия. *Доклады Академии наук*. 470(4): 431–435. doi: 10.7868/S086956521628015X
5. Давыденко Д.Б. 2017. Обнаружение нефтегазоносных объектов методом дистанционной флюидоиндексации на площадях южного склона Воронежской антеклизы. *Наука Юга России*. 13(3): 50–57. doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-50-57
6. Глумов И.Ф., Маливицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. 2004. *Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря*. М., Недра-Бизнесцентр: 342 с.

### REFERENCES

1. *Aerokosmicheskie metody geologicheskikh issledovaniy*. [Aerial and Cosmic Methods of Geological Investigations]. 2000. St Petersburg, Map Factory of VSEGEI: 316 p. (In Russian).
2. Gornyy V.I., Tronin A.A. 2012. [Review of the Last Decade Major Achievements of Remote Sensing Methods Application on the Geological & Geophysical Problems Solution]. *Sovremennye problemy zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 9(5): 116–132. (In Russian).
3. Davydenko D.B., Finkel'shtein M.Ya. 2004. [Forecasting of oil-gas capacity by multispectral space images in the environment of GIS INTEGRO]. *Geoinformatika*. 1: 41–49. (In Russian).
4. Davydenko D.B. 2016. Regional anomalies of the hydrocarbon fluid saturation as a new source of information about oil and gas promising objects of Caspian shelf. *Doklady Earth Sciences*. 470(1): 997–1001. doi: 10.1134/S1028334X16100020
5. Davydenko D.B. 2017. Detection of oil and gas bearing objects by the method of remote fluid-indexation at the areas of southern slope of the Voronezh Antecline. *Nauka Yuga Rossii*. 13(3): 50–57. (In Russian). doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-50-57
6. Glumov I.F., Malovitskiy YA.P., Novikov A.A., Senin B.V. 2004. *Regional'naya geologiya i neftegazonosnost' Kaspiyskogo morya*. [Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea]. Moscow, Nedra-Biznesstsent: 342 p. (In Russian).

Поступила 17.05.2019